

Article, Published Version

Felkel, Karl

Ideestudie über die Möglichkeiten der Verhütung von Sohlenerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103049>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Felkel, Karl (1970): Ideestudie über die Möglichkeiten der Verhütung von Sohlenerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 30. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 21-30.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dr.-Ing. K. Felkel

Ideenstudie über die Möglichkeit der Verhütung von Sohlenerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talaue ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins

**Reflections on the possibility of preventing erosion of a movable river
bed by adding sediment material from the adjacent flood plain into the river bed.
(Upper course of the Rhine River taken as an example).**

Zusammenfassung

Die Studie zieht aus der Morphogenese des Oberrheins den Schluß, das es flußbaulich sinnvoll sein kann, das unterhalb der jeweils letzten Staustufe abgehende Sohlenmaterial laufend durch Kies zu ersetzen, welcher dabei aus der seitlichen Talniederung maschinell entnommen und in das Strombett eingebracht werden soll.

Daß dieses Verfahren auch wirtschaftliche Vorteile haben kann, zeigt ein abschließender Vergleich, bei dem die hierbei zu erwartenden Jahreskosten denjenigen gegenübergestellt werden, die bei der Fortführung der Kanalisierung oder die durch das Abdecken der Stromsohle mit einer nicht erodierbaren Schicht aus groben Steinen zu erwarten sind.

Summary

Based on the geological development of the upper course of the Rhine River, this study tries to show that it may be advantageous to replace the eroded bed material of Rhine River downstream every last barrage continuously by gravel. This gravel should be mechanically taken from the lateral flood plain and given into the river bed.

A final comparison shows this method may also be of economical advantage. The expected annual costs are compared with those caused by a further canalisation of the Rhine River or by protecting the river bed by a layer of coarse gravel resisting to erosion.

INHALT

	Seite
1. Einleitung	23
2. Morphogenese und Ausbau des Oberrheins	24
3. Die Verhütung der Sohlenerosion unterhalb der letzten Staustufe	26
4. Wirtschaftlichkeitsvergleich	27
5. Zusammenfassung	28
6. Schrifttum	28

1. Einleitung

Bauliche Veränderungen, die in einem geschiebeführenden Fluß vorgenommen werden, beispielsweise die Errichtung von Buhnen, Längswerken oder Durchstichen, können Umgestaltungen der Sohle nach sich ziehen. Wird in dem Fluß der Geschiebetransport durch die Errichtung einer oder mehrerer Staustufen unterbunden, so wird die Flußsohle oberhalb der in Fließrichtung gesehenen ersten Staustufe durch Feststoffablagerungen aufgehöhht. Gleichzeitig tritt unterhalb der letzten Staustufe eine Sohlenerosion ein.

Die fortschreitende Vertiefung der Stromsohle erfordert deshalb unsere besondere Aufmerksamkeit, weil sie verschiedene wasserwirtschaftliche Beeinträchtigungen zur Folge haben kann. Durch das Absinken der Sohle können die Ufer- und Strombauwerke gefährdet werden. Das mit der Sohlenerosion verbundene Absinken des Flußwasserspiegels kann die mit ihm meist korrespondierende Höhenlage der Oberfläche des Grundwassers ungünstig beeinflussen. Davon können verschiedene mit dem Grundwasser in Verbindung stehende Nutzungen betroffen werden, so vor allem die Land- und Forstwirtschaft und die Grundwasserentnahmen. Das Absinken der Flußwasserstände kann auch schädliche Auswirkungen auf die Schifffahrt und die betroffenen Häfen haben, in denen sich, da ihre Sohle den Veränderungen der Flußsohle nicht folgt, die Wassertiefe laufend vermindert.

Muß der Sohlenerosion entgegengewirkt werden, so können folgende Alternativlösungen ins Auge gefaßt werden [8]:

- Fortführung der Kanalisierung,
- Sohlenpanzerung mittels einer Abdeckschicht aus größeren, sich nicht fortbewegenden Steinen oder
- Ersetzen der abgängigen Sohlenmassen durch maschinelle Kiesförderung aus der Talaue ins Strombett.

In der folgenden Studie wird an Hand eines konkreten Beispiels, nämlich des Oberrheins unterhalb von Iffezheim (bei Baden-Baden), generell überlegt, ob die zuletzt genannte Lösung unter bestimmten Voraussetzungen vorteilhaft sein kann. Das Ergebnis kann natürlich nicht ohne weiters auf andere Flüsse übertragen werden, denn es hängt entscheidend von der Morphogenese des Flusses und von der Topographie und Geologie seines Tales ab. Hier soll lediglich gezeigt werden, daß es Fälle gibt, in denen ein solches Verfahren Bedeutung erlangen kann.

Während die Preise für Bauleistungen in der Nachkriegszeit kräftig anstiegen, verteuerte sich die elektrische Energie weniger. Diese Preisentwicklung und der gleichzeitig erreichte hohe Stand der Maschinenteknik, hier vor allem die modernen Baggermethoden, können auch im Flußbau Konsequenzen nach sich ziehen. Es ist zu prüfen, ob die her-

kömmlichen Ausbaumethoden nicht in manchen Fällen durch neue technische Konzeptionen abgelöst sind.

Ein entsprechendes Verfahren wird im dritten Abschnitt der Studie erörtert. Die Frage, ob beim Abtransport des eingebrachten Korngemisches durch die Strömung unerwünschte Ablagerungen in unterstrom der Einbaustelle gelegenen Flußabschnitten auftreten können, wird dabei nicht weiter untersucht. Das Auftreten solcher Ablagerungen dürfte vom Ausbauzustand der entsprechenden Flußstrecken abhängen.

In einem weiteren Abschnitt der Studie wird ein überschlägiger Wirtschaftlichkeitsvergleich aufgestellt. Zur sachlichen Begründung der hier behandelten Methode muß jedoch zunächst auf die natürlichen Gegebenheiten und auf die bauliche Entwicklung des für unser Beispiel gewählten Stromes eingegangen werden.



Bild 1 Lageskizze des Oberrheins zwischen Basel und Karlsruhe

2. Morphogenese und Ausbau des Oberrheins

Das Bild 1 zeigt eine Überblicksskizze des Rheins zwischen Basel und Karlsruhe. Im Bild 2 ist schematisch an einem geologischen Querprofil der Oberrheinebene bei Karlsruhe die Entwicklung des Oberrheingraben dargestellt [4]. Demnach setzte die eigentliche Großgrabenbildung im Mittel-oligozän ein, nachdem sie vorher durch eine mehr kontinuierliche Einsenkung eingeleitet wurde. Im Verlauf des Oligozäns bildeten sich die Grabenrandbrüche bei gleichzeitiger oder anschließender Aufwärtsbewegung der Grabenränder.

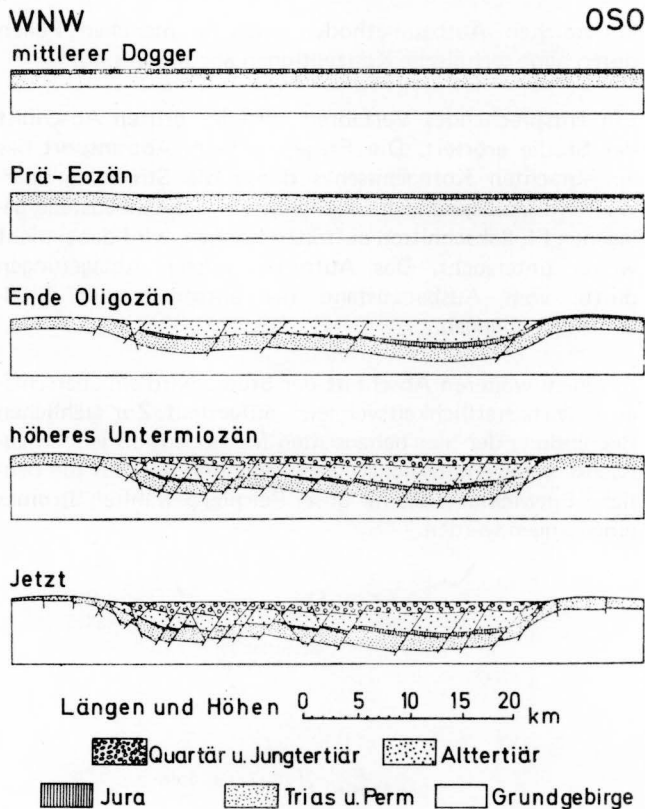


Bild 2 Entwicklung des geologischen Querprofils der Oberrheinebene bei Karlsruhe (nach [4])

Infolge tektonischer Verschiebungen strömt der Alpenrhein, der mit dem nördlichen Teil des Oberrheins (die Wasserscheide lag vermutlich in der Gegend des Kaiserstuhls) bis dahin durch die Burgunder Pforte zur Rhone floß, seit der Wende Pliozän/Diluvium durch den Oberrheintalgraben nach Norden ab [7].

Die Schmelzwasser des zurückgehenden Eises füllten am Ende einer jeden der vier diluvialen Eiszeiten den Oberrheingraben mit gewaltigen Massen vorwiegend alpiner Gerölle und Sande auf [13]. Die Oberfläche der Niederterasse, die nach der letzten, etwa vor 10 000 bis 8 000 Jahren beendeten Eiszeit [2] ausgebildet wurde, läßt sich als einheitliche Ebene von Müllheim/Mühlhausen bis in das Mainzer Becken verfolgen.

Kurz oberhalb von Basel überschreitet der Strom die Rheintalflexur. In Basel und nördlich davon bis etwa Eimeldingen (Rhein-km 174) steht unter den Schotterten Septarienten in unregelmäßiger Höhe an und taucht stellenweise in Form von flachen Barren in den Strom auf. Die Kirchener Schwel-

len (Rhein-km 176) und die Felsschwelle in Istein (Rhein-km 179) bestehen aus Rauracienkalk. Hauptsächlich von hier aus abwärts hat sich der Strom, vermutlich schon bald nach dem Ende der Würmeiszeit, in die die Sedimente des Oligozäns stellenweise mehr als 300 m überlagernde Diluvialschicht einzutiefen begonnen. Nachdem der Abfluß der eiszeitlichen Schmelzwasser und mit ihnen die Geröllzuführung zurückgegangen waren, diente die stellenweise bis zu 40 km breite Diluvialschicht nunmehr als Geschiebedepot, aus dem heraus sich der Strom mit der seiner Schleppkraft entsprechenden Geschiebemasse sättigte und sie abtransportierte.

Der bis etwa zur Lautermündung hin vor der Korrektur in viele Arme zerfaserte Strom änderte mit jedem Hochwasser seinen Lauf, so daß sich die Erosion auf einer großen, im Mittel etwa 4 km betragenden Breite auswirkte. Die seitliche Grenze der erodierten Fläche tritt in der Landschaft des Oberrheins als sogenanntes Hochgestade in Form eines ausgeprägten Steilabfalls von der diluvialen Niederterasse zu der im Alluvium ausgebildeten Rheinniederung in Erscheinung. Die jeweilige Höhe des Hochgestades läßt das örtliche Ausmaß der Eintiefung der Rheinniederung erkennen. Mit stellenweise bis zu 30 m Höhe ist die Erosionsstufe zwischen Basel und dem Kaiserstuhl besonders ausgeprägt. In der anschließenden Strecke bis Kehl/Straßburg fehlt das Hochgestade, um nördlich davon mit Höhen bis zu 14 m in Erscheinung zu treten, besonders zwischen Karlsruhe und Mannheim. Weiter nördlich davon verliert sich die Erosionsstufe vollständig.

Der Rhein verläßt den als Absetzbecken wirkenden Bodensee bar von Feststoffen. Die bedeutende Geschiebefracht des Alpenrheins sinkt an seiner Einmündung in den See in Form eines rasch wachsenden Schuttkegels nieder. In der als Hoahrhein bezeichneten, in ost-westlicher Richtung verlaufenden rd. 170 km langen Strecke bis Basel weist das Strombett eine überwiegend felsige Sohle auf, so daß hier auch vor der Hoahrheinkanalisierung keine erhebliche Geschiebeaufnahme möglich war. Die von den Seitenzuflüssen dieser Strecke, deren bedeutendster die heute ebenfalls weitgehend kanalisierte Aare ist, eingeleiteten Feststoffe vermögen das durch den Bodensee bewirkte Geschiebedefizit des Hoahrheins nicht zu beheben, so daß bei Basel, am Beginn der Oberrheinstrecke, nicht die Feststoffmenge eintreibt, die auf Grund der Abflußverhältnisse hier abtransportiert werden kann.

Es kann davon ausgegangen werden, daß der am Ende des letzten Jahrhunderts begonnene und heute vor dem Abschluß stehende Wasserkraftausbau des Hoahrheins hier bereits einen fast geschiebelosen Zustand angetroffen hat und daß die Geschiebezufuhr bei Basel schon zu dem Zeitpunkt sehr gering war, als die Erosion in die Oberrheinebene vordrang. nachdem sie vorher am Hoahrhein die Felssohle erreicht hatte. Unter diesen Voraussetzungen läßt sich die folgende von Bensing [1] mitgeteilte, vereinfachte Überschlagsrechnung aufstellen:

Beim Isteiner Klotz mit einer Eintiefung von 25 m beginnend und nach etwa 60 km auslaufend, hat der Wildstrom innerhalb der mittleren Breite der alluvialen Niederung von rd. 4 km einen Keil von rd. $25 \cdot 60 \cdot 000 \cdot 4000 \cdot 0,5 =$

$3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ erodiert. Der für die Entstehung dieses Abtrages in Frage kommende Zeitraum dürfte zwischen 5000 und 7000 Jahre betragen, so daß sich die jährlich abtransportierte mittlere Geschiebefracht zu 600 000 oder 440 000 m^3 ergibt.

Viele Altarme, welche die Rheinniederung durchziehen, zeugen noch heute davon, daß früher die Erosion sowohl in die Tiefe als auch in die Breite wirkte. Die nach ihrem Initiator **Tulla** benannte Oberheinkorrektur [3], mit der im Erosionsabschnitt in der Zeit von 1856 bis 1863 begonnen wurde, verhinderte die Seitenerosion, indem der Rheinabfluß bis zu rd. 2000 m^3/s in ein einheitliches Bett zusammengefaßt wurde, dessen befestigte Ufer den Angriffen der Strömung standhalten. Seine Breiten, von Uferkante zu Uferkante gemessen, betragen ab Basel auf eine Länge von 83 km 200 m, anschließend auf rd. 24 km Länge 225 m und sodann bis zur Lautermündung (Rhein-km 355) 250 m.

Korrektionsbett die Niedrigwasserbreite mittels Buhnen. Damit wurde aber auch diejenige Sohlenbreite weiter vermindert, auf der die Erosion vor sich geht. Dies wiederum trägt zur Vergrößerung der Erosionsgeschwindigkeit in vertikaler Richtung und nach unterstrom hin bei.

Längs der deutsch-französischen Grenzstrecke plante Frankreich zunächst einen von Markt (Rhein-km 174) bis Straßburg reichenden Parallelkanal und errichtete in den Jahren 1928 bis 1932 die oberste Staustufe bei Kembs. Ihr folgten am durchgehenden "Grand Canal d'Alsace" die Staustufen Ottmarsheim (Bauzeit 1948-1952), Fessenheim (1952-1956) und Vogelgrün (1955-1961). Unterhalb jeder Staustufe wurde jeweils eine provisorische Mündung des Seitenkanals zum Rhein hin angelegt und bei Inbetriebnahme der nächsten Stufe wieder geschlossen. Dem Rhein werden durch den Kanal bis zu 1080 m^3/s entzogen, solange die Wasserführung 1130 m^3/s übersteigt, d.h. durchschnitt-

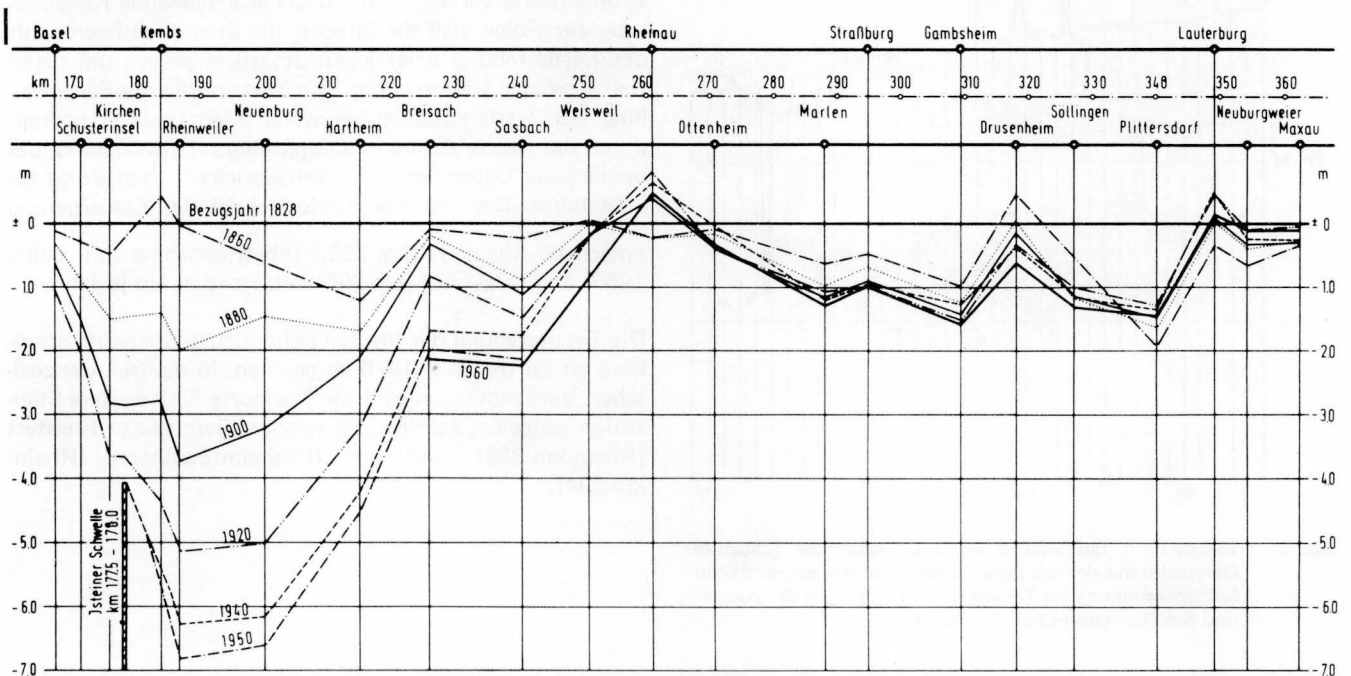


Bild 3 Die Veränderungen des Niedrigwasserspiegels des Oberrheins seit der Korrektur (nach Unterlagen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg)

Die in der Zeit seit der Korrektur des Oberrheins durchgeführten sorgfältigen Beobachtungen beherrschender Niedrigwasserstände (Bild 3) und zum Teil auch der Sohlenhöhen ermöglichen es, die mittlere Geschiebefracht des Oberrheins aus dem inzwischen abgetragenen Volumen zu berechnen. **Wittmann** [12] fand für den Zeitraum von 1889 bis 1922, daß im Mittel jährlich rd. 616 000 m^3 Geschiebe der Erosionsstrecke entnommen wurden und ohne nennenswerte Ablagerungen stromabwärts gewandert sind. Für den Zeitraum 1923 bis 1946 ermittelte er das durchschnittlich jährlich erodierte Volumen zu 520 000 m^3 .

Die Tullasche Oberheinkorrektur hat somit das jährliche Erosionsvolumen nicht nachweisbar verändert, sondern dieses lediglich auf die neu festgelegte Stromsohle konzentriert. Die zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse in den Jahren 1907 bis 1924 in der Strecke Straßburg-Sondernheim und in den Jahren 1931 bis 1962 in der Strecke zwischen der Isteiner Schwelle und Straßburg durchgeführte Niedrigwasserregelung [9] verringerte im

lich an 150 Tagen im Jahr. Bei geringeren Wasserführungen verbleiben Abflüsse zwischen 10 und 50 m^3/s im Rhein. Als Folge sank hier auf einer immer länger werdenden Teilstrecke der Wasserstand um im Mittel 2 bis 3 m ab und das

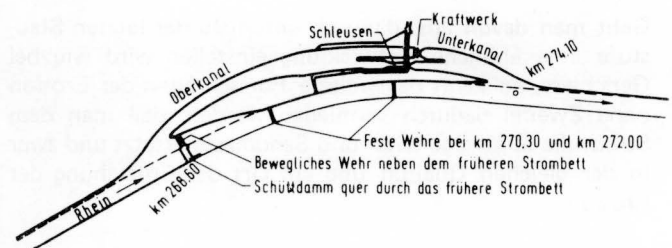


Bild 4 Lageplanskizze der Staustufe Gerstheim

Grundwasser der Rheinebene folgte ihm [10]. Auf Grund des Oberrheinvertrages vom Jahre 1956 [14] wurden bzw. werden die vier Staustufen Marckolsheim (Bauzeit 1957-1961), Rheinau (1959-1963), Gerstheim (1963-1967) und Straßburg (1966-1970) nicht mehr an einem durch-

gehenden Kanal angeordnet, sondern sie liegen jeweils an einer eigenen, wieder in den Rhein einmündenden Kanalschlinge (Bild 4). In der unterhalb des Hauptwehres einer jeden Kanalschlinge verbleibenden Reststrecke, der ein großer Teil der Wasserführung entzogen ist, wird der Wasserspiegel durch feste Schwellen auf einer bestimmten Höhe gehalten.

An der Wiedereinmündungsstelle des Unterkanals der jeweils untersten Staustufe in das Rheinbett setzt nach ihrer Inbetriebnahme der Abtransport von Sohlenmaterial bei geschiebeführenden Abflüssen ein. Das Bild 5 zeigt in Form eines Längsprofils die Veränderungen der Rheinsohle im Talweg für die an die Rückführung des Unterkanals der

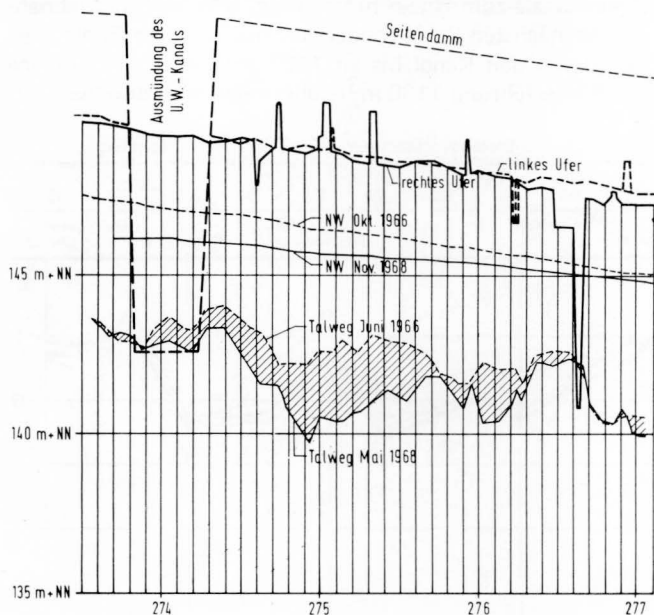


Bild 5 Längsschnitt des Rheins im Unterwasser der Staustufe Gerstheim mit der seit ihrer Inbetriebnahme eingetretenen Sohlenabsenkung im Talweg (nach Unterlagen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg)

3. Die Verhütung der Sohlenerosion unterhalb der letzten Staustufe

Im Unterwasser der letzten Staustufe wird die Sohlenerosion sofort nach der Inbetriebnahme bei Wasserständen mit Geschiebeführung einsetzen. Aufgrund der Erfahrungen bei den bisherigen Staustufen kann die von der Strömung jährlich abtransportierte Geschiebemenge auf etwa $400\,000\text{ m}^3$ geschätzt werden.

Geht man davon aus, daß sich unterhalb der letzten Staustufe eine ähnliche Entwicklung einstellen wird wie bei Gerstheim, so kann das weitere Fortschreiten der Erosion ohne Zweifel dadurch vermieden werden, daß man dem Strom die abgängige Kies- und Sandmasse ersetzt und zwar in der gleichen Qualität und am Ort der Entstehung der Erosion.

Die Größe des Geschiebes nimmt in Strömungsrichtung ab. **Sternberg** hat für den Rhein ein entsprechendes Geschiebeabtriebsgesetz abgeleitet [11]. Um Störungen des Geschiebetransportes zu vermeiden, darf als Geschiebezugabe an einer bestimmten Stelle des Stromes nur ein solches Kies-Sand-Gemisch eingebracht werden, wie es an dieser Stelle an der Sohle natürlich ansteht. Aus der Entstehungsgeschichte des

letzten fertiggestellten Staustufe Gerstheim anschließende Rheinstrecke. Der Querdamm am Wehr Gerstheim wurde am 25. Januar 1967 geschlossen. Bereits fünf Tage vorher war die Schifffahrt in den neuen Kanal umgeleitet worden. Im Bilde eingetragen ist der Talweg der Ausgangssohle sowie derjenige einer in der Zeit vom 16. bis 22. Mai 1968 aufgenommenen Sohle, die sich also rd. 15 Monate nach Beginn des Vollbetriebes einstellte. In dieser Zeit hat sich die Sohle bis zu 2,5 m vertieft, wobei sich der keilförmige Erosionsraum rd. 2,5 km weit erstreckt. Das in dieser Zeit abtransportierte Volumen, dessen Größe u.a. stark von der Wasserführung dieses Zeitraumes abhängt, beträgt rd. $370\,000\text{ m}^3$.

Hatte sich das untere Ende der Erosionsstrecke zwischen den Jahren 1860 und 1940 von Breisach bis etwa Rheinau, also um rd. 30 km oder jährlich im Mittel um etwa 400 m stromabwärts verlagert, so hat die anschließende Kanalisierung zur Folge, daß die Strecke, die Erosion aufweist, mit der Fertigstellung einer jeden Staustufe jeweils um deren Haltungslänge weiterspringt. Die Termine für die Fertigstellung der letzten Staustufen waren nicht zuletzt bedingt durch das rasche Absinken des jeweiligen Unterwassers, das bei längerer Dauer Schifffahrtsschwierigkeiten zur Folge gehabt hätte. Der mittlere Baufortschritt der Kanalisierung

zwischen Rheinau (km 258, Inbetriebnahme im Jahre 1963) und Straßburg (km 290) beträgt rd. 4 km je Jahr.

Die Fertigstellung der im Bau befindlichen Staustufe Straßburg ist für das Jahr 1970 vorgesehen. In deutsch-französischen Verhandlungen sind die Standorte für 2 weitere Staustufen festgelegt worden und zwar bei Gambenheim/Freistett (Rhein-km 309) und bei Iffezheim/Beinheim (Rhein-km 334).

Tales kann geschlossen werden, daß gleiche Sand-Kies-Gemische wie an der Rheinsohle auch seitlich davon in der Talniederung vorhanden sind.

Dies aber ist einer der Vorteile gegenüber der Sohlenpanzerung: Während bei der letzteren die benötigten Steine u.U. gebrochen, auf alle Fälle jedoch sortiert, über größere Entfernungen herantransportiert und hierauf unter Wasser und bei Schifffahrtsbetrieb präzise eingebaut werden müssen, ist das für die hier behandelte maschinelle Kiesförderung erforderliche Material unmittelbar neben dem Rhein bereits in der erforderlichen Beschaffenheit in in schier unbegrenzter Menge vorhanden.

Der Transportweg von der Gewinnungsstelle, nämlich einem im Vorland anzulegenden Baggersee, zur Einbaustelle im Rhein, welche immer die gleiche bleiben kann, braucht nur einige hundert Meter betragen. Für das Fördern kommen Rohrleitungen in Verbindung mit Saugbaggern, Transportbänder, Klappschuten oder andere herkömmliche Mittel in Frage.

Als Einbaustelle wäre zweckmäßigerweise die Rheinsohle mehrere hundert Meter oder wenige Kilometer unterstrom der letzten Staustufe zu wählen. Dabei könnte man zunächst die Erosion sich bis ein oder zwei Kilometer unterhalb der Einbaustelle und auf eine Tiefe von ein oder zwei Meter ausbilden lassen. Das Einspülen oder Verklappen des Kiesel kann hierauf fortlaufend in diesem Bereich vorgenommen werden, wobei die tägliche Einbaumenge der Wasserführung angepaßt werden kann. Der im Strombett unterhalb der von der Schifffahrt benötigten Tauchtiefe verbleibende Raum bis zur Sohle ist jedoch ausreichend groß, um für mehrere Wochen als Zwischenspeicher zu dienen, so daß die Zugabe keineswegs streng dosiert werden müßte.

In Abhängigkeit von der Wasserführung wird die Strömung von dem maschinell auf der Stromsohle abgelagerten Material laufend einen solchen Anteil abtransportieren, wie er auch vor dem Ausbau hier von ihr fortgewegt wurde. Damit aber wird die Geschiebebilanz wieder ausgeglichen. Während sowohl bei der Kanalisierung als auch bei der Panzerung der Sohle mittels einer Abdeckschicht die Erosion am jeweilig unteren Ende der Ausbaustrecke neu einsetzt, ist durch das hier behandelte Verfahren der Geschiebenachschub, dessen Fehlen die Erosion verursacht, gewährleistet.

Da die Beschickung der Rheinsohle mit dem Kies-Sand-Gemisch hierbei mittels einer stationären Anlage in einem einfachen und gut übersehbaren Arbeitsablauf geschehen kann,

sind die Arbeiten mit einem nur geringen Überwachungs- und Verwaltungsaufwand verknüpft.

Als ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der Sohlenpanzerung muß die geringe Behinderung und Gefährdung der Schifffahrt hervorgehoben werden. Das abgerundete, kleinere Korn des maschinell einzubauenden Sand-Kies-Gemisches entspricht dem des natürlich an der Sohle anstehenden Materials. Grundberührungen mit diesem verlaufen im allgemeinen schadlos.

Wird eine rd. 2 km lange und rd. 1 km breite Baggerfläche angelegt, so ergibt sich für die Kiesausbeute eine Fläche von 2 Mio m². Um ihr im Jahresdurchschnitt 400 000 m³ zu entnehmen, muß sie jährlich um durchschnittlich 20 cm vertieft werden. Das heißt, daß ein einziger solcher Baggersee bei einer Endtiefe von 20 m den gesamten Geschiebebedarf des Rheins für rd. 100 Jahre zu decken vermag.

Die je Wochentag zu baggernde und dem Rhein zuzuführende Kies-Sand-Menge beträgt rd. 1300 m³ und entspricht der Ladekapazität von drei bis vier üblichen Rheinschiffen.

Den genannten Vorteilen der Geschiebezugabe aus dem Vorland steht der Nachteil entgegen, daß bisher noch nicht vorhergesagt werden kann, ob sie nicht unerwünschte Ablagerungen an anderen Stellen des Stromes zur Folge hat.

4. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen den drei Lösungen Kanalisierung, Sohlenpanzerung und maschinelle Kiesförderung soll sich im Rahmen dieser Ideenstudie nur auf Übersichtsrechnungen beschränken. Dies dürfte für eine erste Meinungsbildung ausreichen, da die Ergebnisse so eindeutig sind, daß auch eine weitreichende Variierung der benutzten Mengen und Einheitswerte die ermittelte Tendenz nicht verändert.

a) Kanalisierung

Die Kosten für die Errichtung einer Staustufe am Oberrhein können summarisch und ohne Berücksichtigung der Kraftwerkseinrichtungen zu rd. 300 Mio DM angenommen werden [6]. Wenn die Sohlenerosion dazu zwingt, wie bisher alle 4 bis 6 Jahre eine weitere Staustufe zu bauen, so entstehen somit Baukosten in Höhe von

etwa 300 Mio DM : 6 Jahre = 50 Mio DM/Jahr oder mehr.

b) Sohlenpanzerung

Unter Sohlenpanzerung wird hier das Befestigen der Stromsohle mittels einer dem Abtransport durch die Strömung [5] widerstehenden Abdeckschicht aus größeren Steinen verstanden. Da, sofern von oberstrom her kein Geschiebetransport möglich ist, hinter dem jeweiligen unteren Ende der abgedeckten Strecke die unbefestigte Sohle der vollen Erosion ausgesetzt ist, muß die Panzerung Jahr für Jahr weiter nach unterstrom verlängert werden. Aus den Beob-

achtungen an der Staustufe Gestheim (Bild 5) und anderen kann geschlossen werden, daß jährlich eine Strecke von rd. 2 km abzudecken wäre.

Die bisherigen Vorkalkulationen zeigten, daß für die Panzerung von einem laufenden Kilometer der Rheinsohle mit mindestens 5 Mio DM zu rechnen ist. Die Panzerung dürfte somit Kosten verursachen in Höhe von

etwa 2 km/Jahr x 5 Mio DM/km = 10 Mio DM/Jahr.

c) Maschinelle Kiesförderung

Im ersten Jahre nach der Errichtung der Staustufe Gerstheim wurden, wie bereits erwähnt, in ihrem Unterwasser rd. 400 000 m³ erodiert. Das genannte Volumen wurde aufgrund von durchgeführten Sohlenpeilungen ermittelt.

Im Raume Karlsruhe wird gewaschener und sortierter Baukies für rd. 10 DM/m³ mittels Lastkraftwagen frei Baustelle geliefert. Rechnet man mit insgesamt 15,- DM/m³ für den maschinellen Geschiebeeinbau, so erwachsen dabei Kosten

von
etwa 400 000 m³/Jahr x 15,- DM/m³ = 6 Mio DM/Jahr.

Dies sind 2 Prozent der Anlagekosten für eine einzige Staustufe. Eine bankübliche 8-prozentige Verzinsung der Kosten für die letztere, erbrächte demgegenüber jährlich einen Betrag von 24 Mio DM.

5. Zusammenfassung

Seit Jahrtausenden entnimmt der Rhein die Hauptmasse des von ihm bis zum Meer transportierten Geschiebes den riesigen, im Diluvium aufgeschütteten Kiesvorräten der Oberreinebene. Während dieser ganzen Zeit wurde die Talsohle vertieft, allerdings in großer Breite. Das Ausmaß dieser Vertiefung ist an den sogenannten Hochgestaden erkennbar.

Auch nach der Korrektur und der teilweisen Kanalisierung entnimmt der Oberrhein dem Untergrund jährlich eine annähernd gleichbleibende Feststoffmasse. Die Entnahme ist nun jedoch auf die Breite der durch befestigte Ufer und durch Buhnen festgelegten Stromsohle konzentriert, so daß sich der Strom rascher eintieft. War es das Ziel von Korrektur, Regelung und Kanalisierung, mittels der Technik die vom Strom ausgehenden Gefahren zu bannen und ihn dem Menschen nutzbar zu machen, so kann umgekehrt auch mittels technischer Maßnahmen der durch den Ausbau gestörte Geschiebehaushalt des Stromes saniert werden.

Da kein Geschiebe aus der kanalisierten Strecke nachkommt, die Strömung aber das Sohlenkorn abtransportiert, sinkt die Sohle im Anschluß an die kanalisierte Strecke in die Tiefe und mit ihr der Wasserspiegel. Dies wiederum beeinträchtigt die Schifffahrt, den Grundwasserstand und verschiedene Nutzungen. Der durch die Kanalisierung abgeschnittene Geschiebenachschub kann jedoch durch maschinelle Förderung von Kies und Sand aus der Talaue in das Strombett wieder hergestellt werden, was zu Verhütung der Erosion und ihrer Folgen führen kann.

Wie ein überschlägiger Kostenvergleich zeigt, kann ein solches Verfahren nicht nur sinnvoll, sondern auch wirtschaftlicher sein, als die Kanalisierung oder die Sohlenpanzerung. Die bei Kanalisierung, Panzerung und maschineller Geschiebezuführung aufzubringenden Jahreskosten verhalten sich etwa wie

$$50 : 10 : 6$$

6. Schrifttum

- [1] Bensing, W.: Gewässerkundliche Probleme beim Ausbau des Oberrheins. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 10 (1966), Heft 4, S. 85/101.
- [2] Geyer, O.F. und Gwinner, M.P.: Einführung in die Geologie von Baden-Württemberg. Stuttgart: Verlag Schweizerbart 1964.
- [3] Honsell, M.: Die Korrektur des Oberrheines von der Schweizer Grenze unterhalb Basel bis zur Großh. Hessischen Grenze unterhalb Mannheim insbes. der Bad. Anteil an dem Unternehmen. Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden. III. Heft. Karlsruhe 1885.
- [4] Illies, H.: Prinzipien der Entwicklung des Rheingrabens, dargestellt am Grabenschnitt von Karlsruhe. Mitt. des geologischen Staatsinstituts Hamburg. Heft 31. Hamburg 1962.
- [5] Jambor, F.: Schutz der Sohle in Flüssen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau. Heft 22, Karlsruhe 1965, S. 51/63 und deutscher Bericht zum XXI. Intern. Schifffahrtskongreß Stockholm 1965. Abt. I, Thema 4.
- [6] Knäble, K.: Der Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Neuburgweier/Lauterburg und der Abschluß des Kraftausbaues des Oberrheins zwischen Basel und Straßburg. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 96 (1969) H. 10, S. 404-409.
- [7] Mordziol, C.: Rheintalforschung. Ein Beitrag zur geologischen Geschichte des Rheinstromes. Der Rhein. Ausbau, Verkehr, Verwaltung. Duisburg: Verlag Rhein 1951. S. 11/32.
- [8] Rümelin, B.: Der weitere Ausbau der Bundeswasserstraßen im Rheinstromgebiet. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 96 (1969) H. 11, S. 443-449.

- [9] Schneider, G.:
Zusammenfassende Darstellung der Rheinregulierung Straßburg/Kehl – Istein.
WSD Freiburg i. Br., 1966.
- [10] Seifert, H.:
Die Lösung der Rheinseitenkanal-Frage.
Die Wasserwirtschaft 49 (1959) H. 2, S. 29/33.
- [11] Sternberg, H.:
Untersuchungen über Längen- und Querprofil geschiebeführender Flüsse.
Zeitschrift für Bauwesen 25 (1875) H. 11 und 12, S. 483/506.
- [12] Wittmann, H.:
Zur Morphogenese des Oberrheins.
Die Wasserwirtschaft 45 (1955) H. 5, S. 121/131.
- [13] Woldstedt, P.:
Das Eiszeitalter. Grundlagen einer Geologie des Quartärs.
2. Bd. Stuttgart: Verlag F. Enke 1958.
- [14] Vertrag vom 27.10.1956 über den Ausbau des Oberrheins zwischen Basel und Straßburg.
Bundesgesetzblatt Teil II. S. 1863/1873.

